

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 971 703**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01)
C22C 38/12 (2006.01)
C22C 38/14 (2006.01)
C21D 6/00 (2006.01)
C21D 8/02 (2006.01)
C21D 9/46 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.12.2020** **PCT/IB2020/062004**
87 Fecha y número de publicación internacional: **24.06.2021** **WO21124132**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.12.2020** **E 20824686 (8)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.12.2023** **EP 4077756**

54 Título: **Chapa de acero recocido y laminada en caliente de alta tenacidad y procedimiento de fabricación de la misma**

30 Prioridad:

19.12.2019 WO PCT/IB2019/061092

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.06.2024

73 Titular/es:

ARCELORMITTAL (100.0%)
24-26, Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU

72 Inventor/es:

PERLADE, ASTRID;
ZHU, KANGYING;
JUNG, CORALIE y
KEGEL, FRÉDÉRIC

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 2 971 703 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Chapa de acero recocido y laminada en caliente de alta tenacidad y procedimiento de fabricación de la misma

5 **[0001]** La presente invención se refiere a una lámina de acero de alta resistencia con alta tenacidad y baja dureza y a un procedimiento para obtener dicha chapa de acero.

[0002] Para fabricar diversos artículos, tales como piezas de elementos estructurales de carrocería y paneles de carrocería para vehículos automóviles, se conoce el uso de chapas hechas de aceros DP (fase dual) o aceros TRIP
10 (plasticidad inducida por transformación).

[0003] Uno de los principales desafíos en la industria automotriz es disminuir el peso de los vehículos para mejorar su eficiencia en consumo de combustible en vista de la conservación global del medio ambiente, sin descuidar los requisitos de seguridad. Para cumplir con estos requisitos, la industria siderúrgica desarrolla continuamente nuevos
15 aceros de alta resistencia, para tener chapas con mejor rendimiento y resistencia a la tracción, y buena ductilidad y formabilidad.

[0004] Uno de los desarrollos realizados para mejorar las propiedades mecánicas es aumentar el contenido de manganeso en los aceros. La presencia de manganeso ayuda a aumentar la ductilidad de los aceros gracias a la
20 estabilización de la austenita. Pero estos aceros presentan debilidades de fragilidad. Para superar este problema, se añaden elementos como el boro. Estas químicas de boro añadido son muy duras en la etapa de laminado en caliente, pero la banda caliente es demasiado dura para ser procesada adicionalmente. La forma más eficiente de suavizar la banda caliente es el recocido por lotes, pero conduce a una pérdida de tenacidad.

25 **[0005]** Por ejemplo, la publicación US20050199322 describe una chapa de acero laminada en caliente con alto contenido de carbono que tiene excelente ductilidad y conformabilidad de bridas elásticas, siendo recocida la lámina de acero laminada en caliente para reducir la dureza de la chapa de acero.

[0006] Por lo tanto, existe un problema no resuelto en la técnica anterior para obtener una chapa de acero
30 laminada en caliente que tenga alta tenacidad y baja dureza, compatible con un procedimiento adicional.

[0007] Por lo tanto, el objeto de la invención es resolver el problema mencionado anteriormente y proporcionar una chapa de acero que tenga una combinación de nivel de dureza inferior a 300 HV y alta tenacidad con energía de
35 impacto Charpy a 20 °C superior a 0,40J/mm².

[0008] El objeto de la presente invención se logra proporcionando una chapa de acero según la reivindicación 1. La chapa de acero también puede comprender las características de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 7. El objeto de la invención es también proporcionar una chapa de acero laminada en frío según la reivindicación 8.

40 **[0009]** Ahora, la invención se describirá en detalle y se ilustrará mediante ejemplos sin introducir limitaciones.

[0010] En lo sucesivo, Ms designa la temperatura de inicio de la martensita, es decir, la temperatura a la que la austenita comienza a transformarse en martensita al enfriarse. Estas temperaturas se pueden calcular a partir de una fórmula:

45
$$Ms = 560 - (30 \cdot \%Mn + 13 \cdot \%Si - 15 \cdot \%Al + 12 \cdot \%Mo) - 600 \cdot (1 - \exp(-0,96 \cdot C))$$

[0011] A continuación se describirá la composición del acero según la invención, expresándose el contenido en porcentaje en peso.

50 **[0012]** Según la invención, el contenido de carbono está entre 0,1% y 0,25%. Por encima del 0,25 % de carbono, se puede reducir la soldabilidad de la chapa de acero. Si el contenido de carbono es inferior al 0,1 %, la fracción de austenita no se estabiliza lo suficiente como para obtener, después del recocido, la microestructura diana. En una realización preferida de la invención, el contenido de carbono está comprendido entre el 0,15 % y el 0,20 %.

55 **[0013]** El contenido de manganeso está comprendido entre el 3,00 % y el 5,00 %. Por encima del 5,00 % de adición, el riesgo de segregación central aumenta en detrimento de la tenacidad. El mínimo se define para estabilizar la austenita, para obtener, después del recocido, la microestructura diana. Preferentemente, el contenido de manganeso está entre 3,50 % y 5,00 %. En una realización preferida de la invención, el contenido de manganeso está
60 comprendido entre el 3,50 % y el 4,50 %.

[0014] Según la invención, el contenido de silicio está comprendido entre 0,80 % y 1,60 %. Por encima del 1,60 %, el silicio es perjudicial para la tenacidad. Además, se forman óxidos de silicio en la superficie, lo que perjudica la capacidad de recubrimiento del acero. Una adición de silicio de al menos un 0,80 % ayuda a estabilizar una cantidad

suficiente de austenita para obtener, después del recocido, la microestructura de acuerdo con la invención. En una realización preferida de la invención, el contenido de silicio está comprendido entre el 1,00 % y el 1,60 %.

[0015] Según la invención, el contenido de boro está comprendido entre 0,0003 % y 0,004 %. La presencia de boro retrasa la transformación bainítica a una temperatura más baja y la bainita formada a baja temperatura tiene una morfología de listón que aumenta la tenacidad. Por encima del 0,004 %, se promueve la formación de borocarburos en los límites de grano de austenita anteriores, lo que hace que el acero sea más quebradizo. Por debajo del 0,0003 %, no hay una concentración suficiente de B libre que se segregue en los límites de grano de austenita anteriores para aumentar la tenacidad del acero. En una realización preferida de la invención, el contenido de boro está comprendido entre el 0,001 % y el 0,003 %.

[0016] Opcionalmente, algunos elementos se pueden añadir a la composición del acero según la invención:

[0017] Se puede añadir titanio hasta un 0,04 % para proporcionar un refuerzo de la precipitación. Preferentemente, se añade un mínimo de 0,01 % de titanio además de boro para proteger el boro contra la formación de BN.

[0018] Opcionalmente, se puede añadir niobio hasta un 0,05 % con el fin de refinar los granos de austenita durante el laminado en caliente y de proporcionar un refuerzo de la precipitación. Preferentemente, la cantidad mínima de niobio añadida es del 0,0010 %.

[0019] Se puede añadir opcionalmente molibdeno hasta un 0,3 % para disminuir la segregación de fósforo. Por encima del 0,3 %, la adición de molibdeno es costosa e ineficaz en vista de las propiedades que se buscan.

[0020] El aluminio es un elemento muy efectivo para desoxidar el acero en la fase líquida durante su elaboración. El contenido de aluminio se puede añadir hasta un máximo de 0,90 %, para impedir la aparición de inclusiones e impedir problemas de oxidación.

[0021] Se permite un máximo del 0,80 % de cromo, por encima, se observa un efecto de saturación, y la adición de cromo es tanto inútil como costosa.

[0022] El resto de la composición del acero es hierro e impurezas resultantes de la fundición. A este respecto, P, S y N al menos se consideran elementos residuales que son impurezas inevitables. Su contenido es inferior al 0,010 % para S, inferior al 0,020 % para P e inferior al 0,008 % para N. En particular, el fósforo se segrega en el límite del grano y, para un contenido de fósforo superior al 0,020 %, se reduce la tenacidad del acero.

[0023] A continuación se describirá la microestructura de la chapa de acero recocida y laminada en caliente según la invención.

[0024] La chapa de acero laminada en caliente y recocida tiene una microestructura que consiste en, en fracción superficial, 20 % o más de ferrita recrystalizada, siendo el resto ferrita no recrystalizada (incluido 0 %), 15 % o más de dicha ferrita recrystalizada que tiene un tamaño de grano mayor que 5 µm, y una densidad de carburos en el límite de grano de la ferrita recrystalizada menor o igual a 5 carburos por 10 µm de longitud del límite de grano.

[0025] La ferrita recrystalizada corresponde a granos de ferrita que recrystalizaron durante el recocido en banda en caliente. Durante el laminado en caliente, los granos de austenita se alargan y presentan la llamada forma de panqueque (*pancake*). El laminado en caliente genera dislocaciones, que almacenan energía. Durante el recocido, dicha energía almacenada es una fuerza impulsora para formar granos de ferrita, con una densidad de dislocación muy baja dentro del grano. A medida que avanza la recrystalización, la dureza del acero disminuye. Por debajo del 20 % de la ferrita recrystalizada, no se alcanzan las propiedades diana. En una realización preferida de la invención, dicha ferrita recrystalizada está entre 40 % y 60 %. En otra realización preferida de la invención, dicha ferrita recrystalizada está entre 80 % y 100 %. El 15 % o más de ferrita recrystalizada presenta un tamaño de grano superior a 5 µm, con el fin de alcanzar un bajo nivel de dureza.

[0026] La ferrita recrystalizada se puede distinguir de la ferrita no recrystalizada gracias a su morfología, que es equiaxial. La ferrita recrystalizada observada con el modo BSE (electrones retrodispersados) en SEM (microscopio electrónico de barrido) presenta un contraste homogéneo, gracias a la baja densidad de dislocación.

[0027] El resto de la microestructura es ferrita no recrystalizada, que está comprendida entre 0 % (incluido) y 80 %. La parte de bainita y martensita que no puede recrystalizarse durante el recocido de banda caliente es la porción de ferrita no recrystalizada.

[0028] La densidad de carburos en el límite del grano de la ferrita recrystalizada es menor o igual que 5 carburos por 10 µm de longitud del límite de grano para mejorar la tenacidad del acero.

[0029] La chapa de acero laminada en caliente y recocida según la invención tiene una energía de impacto Charpy E a 20 °C superior a 0,40J/mm² medida según la norma ISO 148-1:2006 (F) e ISO 148-1:2017(F).

[0030] La chapa de acero laminada en caliente y recocida según la invención tiene un nivel de dureza Vickers inferior a 300HV.

[0031] La chapa de acero según la invención se puede producir mediante cualquier procedimiento de fabricación adecuado y el experto en la materia puede definir uno. Sin embargo, se prefiere usar el procedimiento según la invención, que comprende las etapas siguientes:

10 Un semiproducto que puede ser laminado en caliente adicionalmente se proporciona con la composición de acero descrita anteriormente. El semiproducto se calienta a una temperatura comprendida entre 1150 °C y 1300 °C, para facilitar el laminado en caliente, con una temperatura final de laminado en caliente FRT dependiendo de la composición química del acero.

15 **[0032]** Para obtener propiedades específicas, el experto debe seleccionar la temperatura de laminado de acabado FRT que promueva la recrystalización de la matriz después del recocido en banda caliente. Más allá de un cierto valor de FRT que depende directamente de la composición química del acero, la energía almacenada ya no es suficiente para recrystalizar la ferrita después del recocido en banda caliente. Preferentemente, la FRT está comprendida entre 750 °C y 1000 °C. Más preferentemente, la FRT está comprendida entre 800 °C y 950 °C.

20 **[0033]** A continuación, el acero laminado en caliente se enfría y bobina a una temperatura T_{bobina} comprendida entre 20 °C y 550 °C. Preferentemente, la temperatura T_{bobina} está comprendida entre (Ms-100 °C) y 550 °C.

25 **[0034]** Después del bobinado, la chapa se puede decapar para eliminar la oxidación.

[0035] A continuación, la chapa de acero bobinada se recuece a una temperatura de recocido T_a inferior a Ac1. La chapa de acero se mantiene a dicha temperatura T_a durante un tiempo de mantenimiento t_a comprendido entre 0,1 y 100 h con el fin de disminuir la dureza mientras se mantiene la tenacidad por encima de 0.4J/mm² de la chapa de acero laminada en caliente. Para obtener propiedades específicas, el experto debe seleccionar T_a para favorecer la recrystalización de la ferrita. Recocer a una temperatura demasiado baja limita la recrystalización de la ferrita y promueve los carburos en los límites del grano, disminuyendo la tenacidad de la chapa de acero. Preferentemente, T_a está comprendida entre 500 °C y Ac1.

[0036] Después del recocido de banda en caliente, la densidad de carburos en el límite del grano es inferior a 5 carburos por 10 µm de longitud del límite de grano, lo que mejora la tenacidad del acero. A continuación, la chapa de acero recocida y laminada en caliente se enfría hasta temperatura ambiente.

40 **[0037]** La chapa de acero laminada en caliente y recocida tiene buenas propiedades de tenacidad y dureza que hacen posible un procedimiento adicional. La chapa de acero laminada en caliente y recocida a continuación se laminó en frío para obtener una chapa de acero laminada en frío que tiene un espesor que puede estar, por ejemplo, entre 0,7 mm y 3 mm, o incluso mejor en el intervalo comprendido entre 0,8 mm y 2 mm. El coeficiente de reducción del laminado en frío está comprendido preferentemente entre el 20% y el 80%.

45 **[0038]** La invención se ilustrará ahora mediante los siguientes ejemplos, que de ninguna manera son limitativos.

Ejemplo 1

50 **[0039]** 3 grados, cuyas composiciones se recogen en la tabla 1, se fundieron en semiproductos planos y se procesaron hasta obtener chapas de acero siguiendo los parámetros del procedimiento recogidos en la tabla 2.

Tabla 1 - Composiciones

Las composiciones analizadas se reúnen en la siguiente tabla, en la que el contenido del elemento se expresa en porcentaje en peso.												
Acero	C	Mn	Si	B	S	P	N	Ti	Mo	Al	Ac1 (°C)	Ms (°C)
A	0,18	3,94	1,29	0,0022	0,002	0,01	0,002	0,023	0,19	0,03	640	328
B	0,18	3,85	1,27	0,0024	0,002	0,01	0,003	0,026	0,21	0,6	655	339
C	0,18	3,96	1,48	0,0022	0,002	0,01	0,002	0,024	0,19	0,03	640	325
Los aceros A-C son según la invención.												

[0040] La temperatura Ac1 se ha determinado a través de pruebas de dilatometría y análisis de metalografía.

Tabla 2 - Parámetros de procedimiento

Los semiproductos de acero, tal como se moldearon, se recalentaron a 1200 °C durante 1800s, se laminaron en caliente y a continuación se bobinaron antes del recocido de banda en caliente. Se aplicaron las siguientes condiciones específicas:

Ensayo	Acero	FRT (°C)	T _{bobinado} (°C)	Recocido	
				Ta (°C)	ta (h)
1	A	950	450	620	23
2	A	900	450	620	23
3	A	850	450	620	23
4	A	800	450	620	23
5	B	950	450	620	23
6	B	900	450	620	23
7	B	850	450	620	23
8	B	800	450	620	23
9	C	950	450	620	23
10	C	900	450	620	23
11	C	850	450	620	23
12	C	800	450	620	23

[0041] Luego se analizaron las chapas laminadas en caliente y recocidas y los correspondientes elementos de microestructura y propiedades mecánicas se reunieron respectivamente en las tablas 3 y 4.

Tabla 3 - Microestructura de la chapa de acero laminada en caliente y recocida

Se determinaron los porcentajes de fase de las microestructuras de la chapa de acero laminada en caliente recocida obtenida:

Ensayo	Ferrita recristalizada (%)	Ferrita no recristalizada (%)	Densidad de carburos en el límite del grano (número/ 10 µm)	Ferrita recristalizada con tamaño > 5 µm (%)
1	20	80	5	15
2	40	60	4	30
3	95	5	2	65
4	98	2	1,5	75
<u>5</u>	<u>5</u>	95	<u>6</u>	<u>0</u>
<u>6</u>	<u>10</u>	90	5	<u>1</u>
7	98	2	2	80
8	100	0	2	80
<u>9</u>	<u>5</u>	95	<u>6</u>	<u>0</u>
<u>10</u>	<u>5</u>	95	5	<u>1</u>
<u>11</u>	25	75	5	<u>7</u>
12	80	20	4	40

Valores subrayados: no corresponden a la invención

[0042] Las fracciones superficiales se determinan mediante el siguiente procedimiento: se corta una muestra laminada en caliente y se recuece, se pule y se ataca con un reactivo conocido *per se*, para revelar la microestructura. Posteriormente, la sección se examina a través de un microscopio electrónico de barrido, por ejemplo, con un

microscopio electrónico de barrido con una pistola de emisión de campo ("FEG-SEM") con un aumento superior a 5000x, tanto en modo de electrones secundarios como en modo de electrones retrodispersados.

Tabla 4 - Propiedades mecánicas de la chapa de acero laminada en caliente y recocida

Las propiedades mecánicas de las muestras analizadas se determinaron y reunieron en la tabla siguiente:

Ensayo	Energía de impacto Charpy (J/mm ²)	Dureza (HV)
1	0,40	278
2	0,49	263
3	0,69	211
4	0,70	204
<u>5</u>	<u>0,34</u>	285
<u>6</u>	<u>0,30</u>	293
7	0,69	210
8	0,66	214
<u>9</u>	<u>0,31</u>	296
<u>10</u>	<u>0,28</u>	290
<u>11</u>	<u>0,30</u>	269
12	0,44	221
Valores subrayados: no coinciden con los valores diana		

5

[0043] Para obtener propiedades específicas, el experto debe seleccionar la temperatura de laminación de acabado FRT para favorecer la recrystalización de la matriz después del recocido.

10 **[0044]** Con el fin de obtener una chapa de acero laminada en caliente y recocida final con más del 20 % de ferrita recrystalizada, siendo el resto ferrita no recrystalizada, se han llevado a cabo ensayos con FRT de 800 °C, 850 °C, 900 °C y 950 °C, antes de recocerse a una temperatura Ta de 620 °C durante un tiempo ta de 23 h.

15 **[0045]** En los ensayos 1-4, el acero A se lamina en caliente con un FRT de 950 °C, 900 °C, 850 °C y 800 °C, respectivamente. Estos ejemplos muestran todas las propiedades deseadas gracias a su composición y microestructura específicas.

[0046] En los Ensayos 5-8, el acero B se lamina en caliente con FRT de 800 °C, 850 °C, 900 °C y 950 °C.

20 **[0047]** El alto FRT de los ensayos 5 y 6, respectivamente, 950 °C y 900 °C, conduce a un nivel de ferrita recrystalizada después del recocido del 5 % y 10 %, más pequeño que el nivel deseado. En los ensayos 7-8, más del 98 % de la ferrita se recrystaliza gracias al bajo nivel de FRT de 850 °C y 800 °C.

[0048] En los ensayos 9-12, el acero C se lamina en caliente con FRT de 800 °C, 850 °C, 900 °C y 950 °C.

25 **[0049]** En este caso, una FRT superior a 900 °C implica una microestructura fuera de la invención. Para los ensayos 9-11, la densidad de carburos en el límite del grano es mayor que el nivel deseado, lo que lleva a una baja tenacidad del acero.

Ejemplo 2

30

[0050] 1 grado, cuya composición se recogen en la tabla 6, se fundió en semiproductos y se procesó hasta obtener chapas de acero siguiendo los parámetros del procedimiento recogidos en la tabla 7.

Tabla 6 - Composición química

Acero	C	Mn	Si	B	S	P	N	Ti	Nb	Mo	Al	Ac1 (°C)	Ms (°C)
D	0,19	3,86	1,27	0,0021	0,001	0,01	0,003	0,029	0,02	0,20	0,39	650	331
El acero D es según la invención.													

35

Tabla 7 - Parámetros del procedimiento

Los semiproductos de acero, tal como se moldearon, se recalentaron a 1200 °C durante 1800s, se laminaron en caliente y a continuación se bobinaron antes de un recocido de banda en caliente. Se aplicaron las siguientes condiciones específicas:

Ensayo	Acero	FRT (°C)	T _{bobinado} (°C)	Recocido	
				T _a (°C)	t _a (h)
13	D	845	300	594	23
14	D	845	300	605	7
15	D	845	300	619	7
16	D	845	300	633	7
17	D	845	300	648	7

[0051] A continuación, las muestras resultantes se analizaron y los elementos de microestructura y propiedades mecánicas correspondientes se recogieron respectivamente en las tablas 8 y 9.

5

Tabla 8 - Microestructura de la chapa de acero laminada en caliente y recocida

Se determinaron los porcentajes de fase de las microestructuras de la chapa de acero laminada en caliente y recocida obtenida:

Ensayos	Ferrita recristalizada (%)	Ferrita no recristalizada (%)	Densidad de carburos en el límite del grano (número/10 µm)	Ferrita recristalizada con tamaño > 5 µm (%)
<u>13</u>	<u>5</u>	<u>95</u>	<u>10</u>	<u>0</u>
<u>14</u>	30	70	<u>6</u>	<u>7</u>
15	45	55	3	40
16	55	45	2	48
17	60	40	1,5	50

Valores subrayados: no corresponden a la invención

[0052] Las fracciones superficiales se determinan mediante el siguiente procedimiento: se corta una muestra laminada en caliente y se recuece, se pule y se ataca con un reactivo conocido *per se*, para revelar la microestructura.

10 Posteriormente, la sección se examina a través de un microscopio electrónico de barrido, por ejemplo, con un microscopio electrónico de barrido con una pistola de emisión de campo ("FEG-SEM") con un aumento superior a 5000x, tanto en modo de electrones secundarios como en modo de electrones retrodispersados.

Tabla 9 - Propiedades mecánicas de la chapa de acero laminada en caliente y recocida

Las propiedades mecánicas de las muestras analizadas se determinaron y reunieron en la tabla siguiente:

Ensayo	Energía de impacto Charpy (J/mm ²)	Dureza (HV)
<u>13</u>	<u>0,20</u>	<u>324</u>
<u>14</u>	<u>0,26</u>	<u>300</u>
15	0,41	271
16	0,53	235
17	0,56	223

Valores subrayados: no corresponden a la invención

15

[0053] Los ensayos 13-17 se han realizado con un FRT de 845 °C y variando la temperatura de recocido T_a, con el fin de obtener una chapa de acero recocido final con más del 20 % de ferrita recristalizada, siendo el resto ferrita no recristalizada, y para limitar los carburos en los límites del grano.

20 **[0054]** Si T_a es demasiado baja, como en los ensayos 13 y 14, la ferrita no está suficientemente recristalizada

y el acero es demasiado duro. La alta cantidad de carburos formados en el límite del grano reduce la tenacidad del acero.

REIVINDICACIONES

1. Chapa de acero laminada en caliente y recocida, hecha de un acero que tiene una composición que comprende, en porcentaje en peso:

5

C: 0,1—0,25 %
Mn: 3,00—5,00 %
Si: 0,80—1,60 %
B: 0,0003—0,004 %
S ≤ 0,010 %
P ≤ 0,020 %
N ≤ 0,008 %

y que comprende opcionalmente uno o más de los siguientes elementos, en porcentaje en peso:

Ti ≤ 0,04 %
Nb ≤ 0,05 %
Mo ≤ 0,3 %
Al ≤ 0,90 %
Cr ≤ 0,80 %

10 siendo el resto de la composición hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición, teniendo dicha chapa de acero una microestructura que comprende, en fracción superficial,

- 20 % o más de ferrita recristalizada
- siendo el resto ferrita no recristalizada,

15 - 15 % o más de dicha ferrita recristalizada que tiene un tamaño de grano mayor que 5 µm
- y una densidad de carburos en el límite de grano de la ferrita recristalizada menor o igual a 5 carburos por 10 µm de longitud del límite de grano.

2. Una chapa de acero laminada en caliente y recocida según la reivindicación 1, donde el contenido de Si está comprendido entre 40 % y 60 %.

3. Una chapa de acero laminada en caliente y recocida según la reivindicación 1, donde el contenido de ferrita recristalizada está comprendido entre 80 % y 100 %.

25 4. Una chapa de acero laminada en caliente y recocida según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde el contenido de manganeso es de entre el 3,50 % y el 4,50 %.

5. Una chapa de acero laminada en caliente y recocida según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde el contenido de silicio es de entre el 1,00 % y el 1,60 %.

30

6. Una chapa de acero laminada en caliente y recocida según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde la chapa de acero laminada en caliente y recocida tiene una energía de impacto Charpy a 20 °C superior a 0,40J/mm², medida según la norma ISO 148-1:2006 (F) e ISO 148-1:2017(F).

35 7. Una chapa de acero laminada en caliente y recocida según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, donde la chapa de acero laminada en caliente y recocida tiene un nivel de dureza inferior a 300HV.

8. Una chapa de acero laminada en frío obtenida a partir del laminado en frío de la chapa de acero laminada en caliente y recocida según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.